

粉末冶金 MR64 合金超塑变形后的机械性能^①

崔忠圻 梁彤翔 陈浦泉 张吉人
(哈尔滨工业大学)

吕毓雄 马宗义
(沈阳金属研究所)

摘 要

快速凝固粉末冶金合金 MR64 在 480 ℃、 $8.33 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 应变速率条件下进行超塑拉伸, 可获得 260% 延伸率。研究了超塑变形后的机械性能与孔洞的关系, 发现孔洞数量增加, 强度和塑性下降。当超塑变形量为 30~40% 时, 材料的强度和塑性最高, 这是由于孔洞的“湮灭”造成的。超塑变形后的高温退火可以消除部分孔洞, 提高材料性能。

关键词: 铝合金 超塑性 孔洞

快速凝固粉末冶金合金具有优异的综合性能, 不但其强度、断裂韧性得到提高, 抗蚀性能和疲劳强度明显增加, 而且用快速凝固超细粉末生产的粉末冶金合金材料在一定温度下呈现出超塑性。

近几年, 粉末冶金合金的超塑性研究受到人们的重视, 研究重点放在孔洞变化规律和晶粒长大规律上^[1,2]。我国尚未见到关于粉末冶金合金超塑性研究的报导。

目前, 人们对超塑性变形机理、组织变化规律的研究已经很多, 但对超塑变形后材料室温性能的研究还很少。本文选用快速凝固粉末冶金合金 MR64 作为试验材料, 研究经一定量的超塑变形的室温拉伸性能, 重点是孔洞对性能的影响, 并利用高温退火工艺来减少超塑变形后的孔洞, 进一步提高材料的机械性能。

所示。

然后通过真空除气、机械热压和 25:1 的挤压比挤成直径为 10 mm 的棒材, 机加工成标距尺寸为 $d 5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的拉伸试样。试样的固溶处理温度为 480 ℃, 在 140 ℃ 时效处理 10 h。材料的化学成分见表 1。

采用日产品津电子拉力机进行超塑拉伸试验。超塑变形至一定应变后的试样迅速水冷

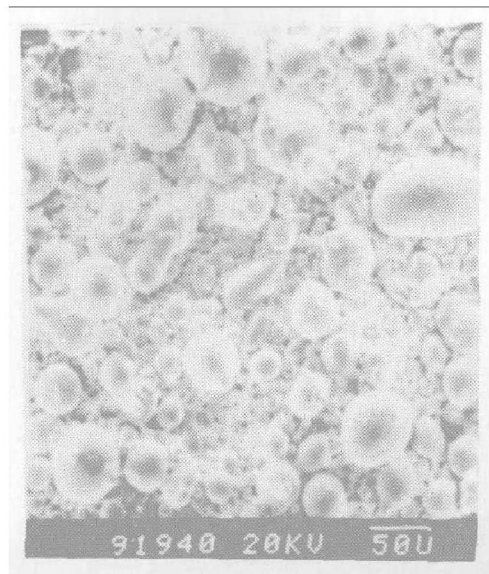


图 1 MR64 粉末的形貌和尺寸

1 试验材料及方法

采用航空材料研究所研制的 MR64 铝合金粉末, 粉末平均直径约为 50 μm , 其形貌如图 1

^① 1992 年 6 月 22 日收到

表1 MR64 合金的化学成分

元 素	Zn	Mg	Cu	Cr	Zr	Co	Al
含量/wt.-%	7.0	2.1	2.2	0.2	0.2	0.3	其余

至室温, 进行室温拉伸试验。采用相同尺寸及形状的试样, 进行相同应变的超塑变形, 再以超塑变形温度下保温相同时间的试样作为“参照试样”, 目的是考察超塑变形对孔洞和机械性能的影响。微观组织用日立 S570 扫描电镜进行观察。

2 试验结果

MR64 属于超高强度铝合金, 经固溶和时效处理后, 其抗拉强度为 590 MPa, 延伸率则为 8.5%。

选用三个不同应变速率进行超塑拉伸试验, 其延伸率与温度的关系曲线如图 2 所示。可见当应变速率为 $8.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 时, 在 480 °C 出现塑性峰, 延伸率为 260%; 应变速率提高, 塑性峰有所降低, 当应变速率提高五倍, 达 $4.17 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 时, 其延伸率仍高达 230%。这表明应变速率高是该合金的显著特点。

超塑变形一定应变量后迅速水冷的试样, 其室温机械性能试验结果如图 3 所示, 图中的

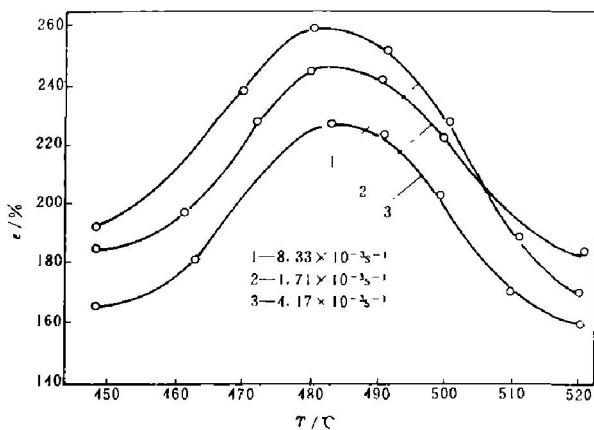


图2 应变速率和温度对 MR64 超塑性的影响

直线为参照试样的性能。从曲线可以看出, 室温机械性能随超塑应变量的增加而提高, 当应变量为 0.4 时, 其机械性能达最高值, 进一步

增加应变量, 则其机械性能下降。

超塑变形一定应变量的试样, 在 450 °C 分别进行 15 h 和 22 h 的退火处理, 其机械性能试验结果列于表 2。

从表 2 可见, MR64 合金经固溶和时效处理后, 其抗拉强度为 590 MPa, 延伸率为 8.5%。从表中数据可以看出, 经一定应变量的超塑变形, 可显著提高机械性能。如应变量为 0.405 时, 强度可达 665 MPa, 延伸率为 14.5%, 若再进行 450 °C、15 h 退火处理, 强度提高至 675 MPa, 延伸率则达 15%。进一步延长退火时间至 22 h, 强度有所下降, 延伸率则增加至 16%。若应变量超过 0.668, 则其机械性能下降。

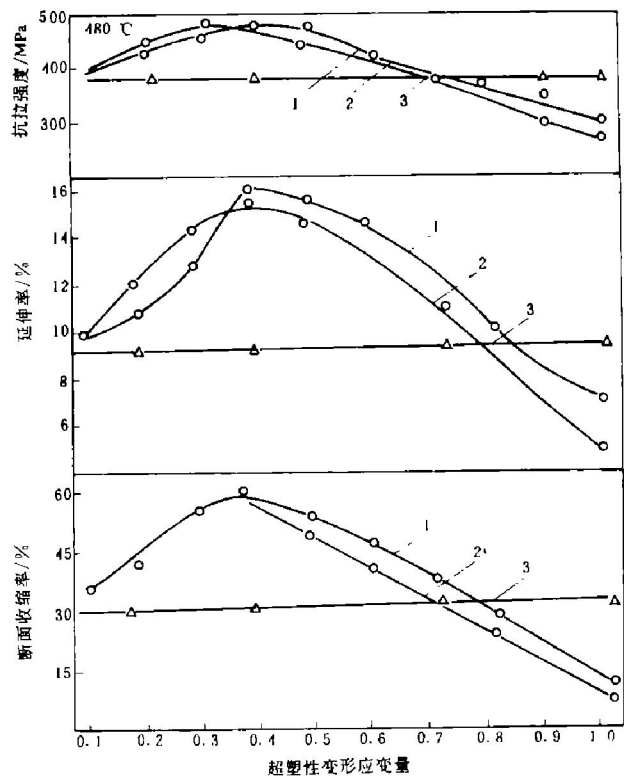


图3 超塑变形的应变量与室温机械性能的关系

1— $8.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$; 2— $1.67 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 3—参照试样

退火的主要作用是减少孔洞数量, 改变孔洞形状。孔洞数量减少, 可提高材料的强度; 孔洞外形由带尖角的不规则外形变得比较规正, 可减少应力集中, 改善材料塑性。对所有的试样均进行了显微组织分析, 其中超塑变形应变量对孔洞数量影响的结果见图 4, 退火温度和时间对孔洞数量影响的结果见图 5, 图 6 为孔洞的显微组织照片。

从图4可见,材料中的孔洞分数与超塑变形时的应变量有关,应变量增加,孔洞减少,当应变量为0.4时,孔洞分数达到最低值,进一步增加应变量,则孔洞分数增加。从图中还可看出,若在450℃进行15h或22h的退火处理,可使材料中的孔洞进一步降低。

表2 450℃退火对室温机械性能的影响

超塑性 拉伸应变	σ_b/MPa	$\epsilon/\%$	时效 15 h		时效 22 h	
			$\epsilon/\%$	σ_b/MPa	$\epsilon/\%$	σ_b/MPa
0.095	600	9	600	9.5	590	10
0.180	618	11	620	11	615	13
0.300	655	12	665	14	650	13
0.405	665	14.5	675	15	665	16
0.531	645	13	640	14	630	15
0.668	620	12.5	620	13	615	14
0.788	560	10	555	13	540	13
1.047	500	7	500	8.5	495	9.5

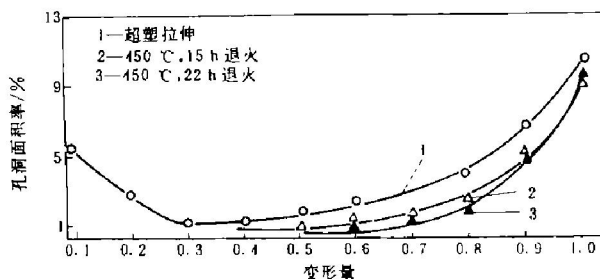


图4 孔洞分数与超塑变形变量的关系

从图5可见,孔洞分数随退火时间的延长而逐渐减少,达到一定时间后,孔洞数量趋于稳定。只有提高退火温度(如从410℃提高至450℃),才能进一步减少孔洞数量。

从图6可看出,经退火处理后,孔洞数量减少,大尺寸孔洞变小,细小孔洞趋于闭合。

3 分析讨论

在三个不同应变速率下进行超塑拉伸试验,结果表明,MR64合金的超塑性对应变速率不甚敏感。例如,在480℃、 $8.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 应变速率下的延伸率为260%;当其应变速率提高五倍,即为 $4.17 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 时,其延伸率仍高达230%,这一结果与文献[1]粉末冶金Al-Li合

金的超塑应变速率在 $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 之间的结果相当。与一般超塑合金的最佳应变速率在 $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 的结果相比,应变速率高是粉末冶金合金的显著特点。

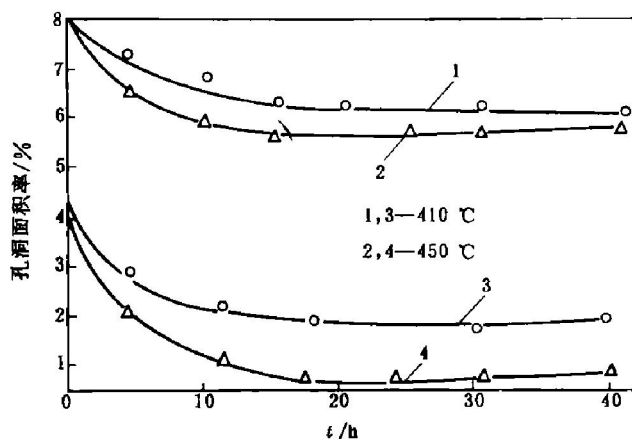


图5 退火时间对孔洞的影响

3.1 孔洞对室温性能的影响

经固溶和时效处理后,MR64合金在超塑变形过程中的组织比较稳定,晶粒长大倾向很小[3]。由于孔洞对材料组织起分割作用,减少有效承载面积,因此使其强度降低。快速凝固MR64合金粉末,经真空除气和热压后,只能达到其理论密度的98%,即使在挤压后,仍有孔洞存在,这必然给材料的性能带来不利影响。

在研究超塑变形过程中的孔洞时发现,原始材料中的孔洞在变形过程中发生了特有的“湮灭”现象[9](图4),当变量小于0.4时,孔洞数量随应变量增加而减少,相应地,其室温强度随应变量的增加而升高(图3)。当应变量为0.4时,强度达最高值(665 MPa),塑性也最好(14.5%)。当应变量大于0.4之后,孔洞数量随应变量的增加而增多,其强度和塑性则随应变量的增加而降低。关于孔洞“湮灭”的微观机理尚需深入研究。

超塑变形时的应变速率对室温性能有一定影响(图3),在较高的应变速率($4.17 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)下,原始材料的强度和塑性最大值所对应的应变量为0.34,比低应变速率($8.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)强度和塑性最大值所对应的应变量0.4有所降低。这是由于应变速率增高,原始孔洞“湮灭”速度快;应变量超过0.34后(图4),孔洞

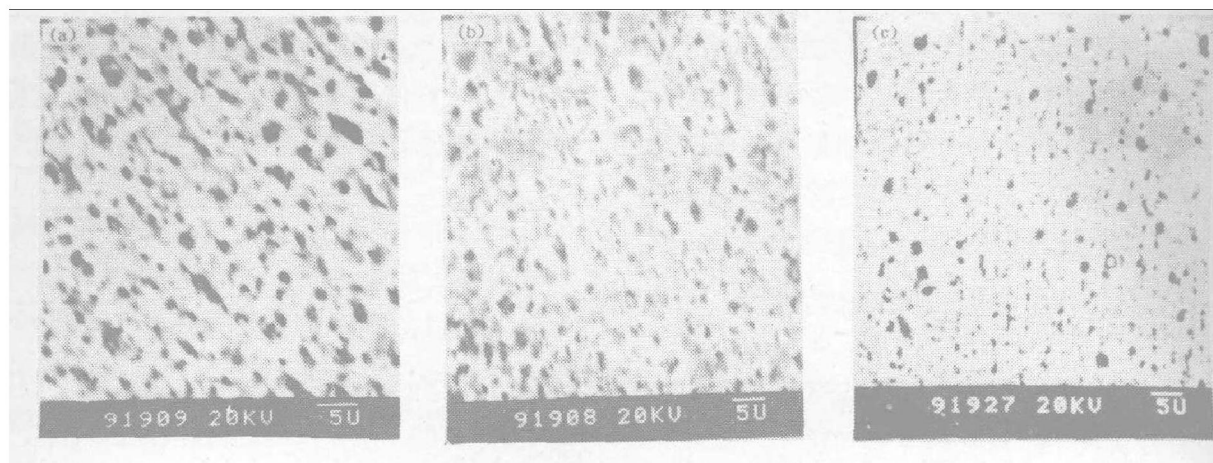


图6 MR64合金退火前后组织中的孔洞

(a)—480 °C, $8.33 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 应变量 150%; (b)—450 °C 退火 15 h; (c)—450 °C 退火 22 h

数量随应变速率增加而提高。

3.2 退火对孔洞的影响

超塑变形后的退火时间对 MR64 合金的性能有明显影响, 如在 450 °C 退火 15 h, 其强度和塑性均有所增加, 进一步延长退火时间(22 h), 强度有所下降, 而塑性则进一步提高。室温性能的这种变化与材料的组织有关, 从图 4 可以看出, 退火 15 h 后, 孔洞总的数量减少, 而且大尺寸孔洞变小, 细小尺寸孔洞则趋于闭合(图 6)。

退火后的强度决定于孔洞数量和晶粒尺寸、析出强化相的多少等两方面因素^[3]; 当孔洞数量减少占主导地位时, 则强度增加; 若晶粒尺寸长大和析出强化相占主导地位, 则强度下降。因此退火温度的选择应考虑以上两方面影响因素, 退火温度过高, 则造成晶粒长大, 析出强化相减少; 而退火温度过低, 又不足以消减孔洞。对 MR64 合金而言, 在 410~450 °C 范围内退火, 可以使孔洞数量减小, 又不致使晶粒异常长大。

文献 [4] 对 7475 合金超塑成形后进行长达 50 h 的退火, 目的是使孔洞球化, 以提高合金的塑性。从图 5 可以看出, 孔洞减少速率随时间延长而逐渐变小, 达到一定时间后, 孔洞

数量趋于稳定状态, 只有进一步提高温度, 才能减少孔洞数量。过长的保温时间, 不但不能有效地减少孔洞数量, 反而导致晶粒长大, 使强度降低, 但可使孔洞进一步球化, 提高材料的塑性。

4 结 论

(1) 粉末冶金 MR64 合金中的原始孔洞在超塑变形应变量为 0.3~0.4 时发生“湮灭”现象, 此时的室温强度和塑性达到最高值;

(2) 超塑变形后在 450 °C 退火 15 h 可使大尺寸孔洞球化, 细小孔洞闭合, 室温强度和塑性可进一步提高;

(3) 应变速率高是粉末冶金 MR64 合金超塑变形的显著特点, 当应变速率在 $8.33 \times 10^{-3} \sim 4.17 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 时, 其延伸率大于 230%。

参考文献

- 1 Pandey M C *et al.* Script Metall, 1985, 19: 1229-1234.
- 2 Pandey M C *et al.* Meter Sci Eng, 1986, 78: 115-125.
- 3 梁彤翔. 硕士学位论文, 哈尔滨工业大学, 1992, 3.
- 4 松尾 守. 轻金属(日), 1986, 36: 45.